

## 多段対向噴霧方式を用いた燃焼特性に及ぼす燃料性状および噴射タイミングの影響に関する研究

著者	大岩 亮友
出版者	法政大学大学院理工学・工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編
巻	62
ページ	1-4
発行年	2021-03-24
URL	<a href="http://doi.org/10.15002/00023879">http://doi.org/10.15002/00023879</a>

# 多段対向噴霧方式を用いた燃焼特性に及ぼす 燃料性状および噴射タイミングの影響に関する研究

EFFECTS OF FUEL PROPERTY AND INJECTION TIMING ON COMBUSTION CHARACTERISTICS  
BY USING MULTI-STAGE IMPINGING INJECTION SYSTEM

大岩 亮友

Ryosuke OIWA

指導教員 川上忠重

法政大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程

Direct injection has been widely used in internal combustion engines to enhance the knock resistance and improve fuel consumption. On the other hand, problems such as adhesion of fuel to the surface of chamber and unburned components have been pointed out. Previous researches indicated that the impinging injection can solve these problems and form spray-formation scattered from center of the combustion chamber. Therefore, this experiment has been carried out to examine the influence of injection timing (before/after ignition) on combustion characteristics under heterogeneous combustion field. The main conclusions are as follows:

- (1) It is possible to control the Ignition delay time with fuel property for different type of fuel by using multi-stage impinging injection (before/after ignition) system.
- (2) Using multi-stage impinging injection (before/after ignition) system, the constant Rate of Heat Release (ROHR) section exists for fuel property of pre-injection.

**Key Words** : fuel injection, impinging injection, mixture formation, combustion analysis

## 1. 緒言

近年の自動車・船舶・発電などに用いられる内燃機関にはノッキングの低減や熱効率向上の観点から、燃料筒内直接噴射方式が数多く用いられているが、燃料液滴の燃焼室壁面への付着による未燃成分の発生等の問題が指摘されている。その改善手法の一つとして対向噴霧方式があり、向かい合った二つの燃料ノズルからの噴射による噴霧同士の衝突に起因する壁面付着の低減や、燃焼室中心部から広がる噴霧の形成が可能である事が報告されている<sup>(1)</sup>。また、燃料の筒内直接噴射によって燃焼室内には不均質燃焼場が形成されるが、燃料の点火前早期噴射による予混合気形成割合の最適化により、不均質燃焼場の燃焼改善が可能である事が示されている<sup>(2)</sup>。そこで、著者らは同一燃料を点火の前後で噴射した際、燃料性状が不均質燃焼場の燃焼特性に及ぼす影響について考察した<sup>(3),(4)</sup>。本研究では、対向噴霧方式を用いた技術のさらなる開発の一環として、点火の前後で異種燃料を噴射した際、燃料性状が不均質燃焼場の燃焼特性に及ぼす影響について、熱発生率、着火遅れ時間及び全燃焼時間等から検討を行った。なお、実験は定容密閉容器を用いて室温・大気圧下で行った。

## 2. 実験装置及び方法

### (1) 実験装置

図 1 に実験装置の概略図、図 2 に燃焼容器の詳細断面

図を示す。装置は主に燃焼容器、プロパン予混合気作成の為の混合タンク、データサンプリング系および燃料噴射装置・火花点火装置とその遅延回路から構成されている。図 2 に示した燃焼容器は内径 160mm、奥行き 280mm の円筒形で、180 度向き合ったポート噴射式ガソリンエンジン用のインジェクター（噴孔径：150 $\mu$ m、8 孔）が 2 対（計 4 本）取付けられている。液体燃料の加圧にはエア加圧式タンクを使用し、燃料タンクに燃料を封入後、燃料出口と反対側から圧縮空気で加圧することで安定した噴射圧で実験を行った。噴射圧は 0.5MPa で一定とした。燃料は、それぞれ発熱量や揮発性の異なる n-ヘキサデカン(C<sub>16</sub>H<sub>34</sub>)、n-ドデカン(C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>)および n-デカン(C<sub>10</sub>H<sub>22</sub>)を使用した。燃料性状を表 1 に示す。

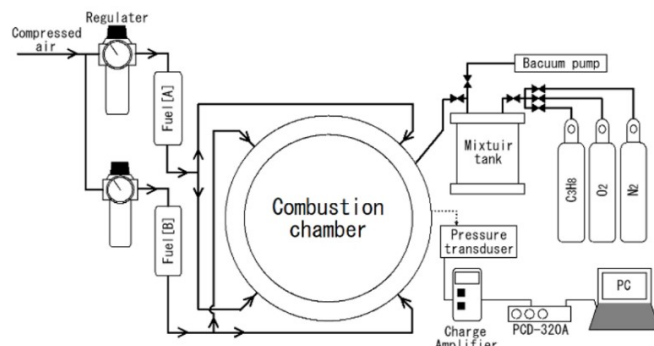


Fig. 1 Experimental apparatus

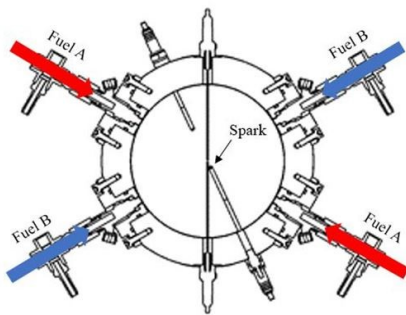


Fig. 2 Combustion chamber

Table 1 Fuel properties

Properties/Test fuels		n-Hexadecane	n-Dodecane	n-Decane
Lower heat value	kJ/mol	9951	7515	6294
Density	g/ml	0.775	0.749	0.731
Viscosity	mPa·s	2.70	1.37	0.87
Autoignition point	K	475	476	483
Flash point	K	408	347	319
Boiling point	K	560	489	447
Latent heat of evaporation	kJ/mol	51.3	43.7	39.3

## (2) 実験方法

実験はまず、燃焼容器内を真空にし、予め混合タンクで作成された所定当量比のプロパン - 酸素 - 窒素混合気を室温・大気圧で燃焼容器に封入した。その後、スイッチの投入により遅延回路を介して液体燃料噴射と火花点火を行うことで、不均質燃焼場を模擬した実験を行った。プロパンと液体燃料合わせての総括当量比は0.95で一定とした。なお、点火の位置は図2に示すように噴霧衝突が行われる燃焼室中心部である。燃焼圧力はピエゾ式センサー（KISTLER 社製 6041A, チャージアンプ 5011B）を用いて測定した。実験は1条件につき10回行った。最高燃焼圧力および点火から最高燃焼圧力到達までの時間が最大・最小となる実験データを除き算術平均した後、各生データと算術平均値の差が±5%（時間については±15%）を超えるデータを除きアンサンブル平均することで、平均指圧線図を得た。平均指圧線図の最高燃焼圧力到達時を燃焼完了とし、それまでの熱発生率を算出した。なお、定容燃焼容器での実験である為、熱発生率は圧力上昇のみの関数となり、また比熱比 $\kappa$ は1.34（一定）とした。また、燃焼完了時の総発生熱量THRを基準にその1%の熱発生が得られるまでの時間を着火遅れ時間 $\tau$ 、点火から燃焼完了までの時間を全燃焼時間TBTと定義した。また、本実験における燃料の噴射タイミングと火花点火の時間的關係を図3に示す。このとき、前噴射の噴霧後端が中心部で衝突してから10ms後に点火し、さらに10ms後に後噴射の噴霧先端が中心部で衝突する。

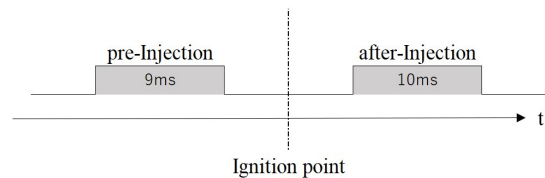


Fig. 3 Injection timing

## 3. 実験結果及び考察

### (1) n-ヘキサデカンとn-ドデカンを用いた場合

n-ヘキサデカンとn-ドデカンを用いて実験を行い、得られた熱発生率の履歴を図4に示す。また、着火遅れ時間、全燃焼時間、最高燃焼圧力および総発生熱量の結果を図5に示す。

図4から明らかなように、点火の前後で異種燃料を噴射した場合、前噴射燃料と後噴射燃料の燃料性状により、熱発生率の変化履歴には著しい差異が生じている。この結果は、後述の図6（n-ヘキサデカンとn-デカンを用いた場合）も同様である。①および②は前噴射においてn-ドデカンを噴射しているが、観察された最大熱発生率はほぼ同程度である。一方、前噴射にn-ヘキサデカンを用いた場合には、先のn-ドデカンの場合と比較して、得られた最大熱発生率が③においては著しく増大している。これは、沸点の高いn-ヘキサデカンを前噴射した場合には、n-ドデカンと比較して予混合化が遅延するため、前噴射の燃焼熱が後噴射の温度上昇に影響したと考えられる。また、後噴射にn-ヘキサデカンを用いた③の方が、n-ドデカンを用いた④と比較して最大熱発生率が増大しているが、これは発熱量の影響と考えられる。ここで、前噴射にn-ドデカンを用いた①および②の場合の熱発生率の履歴に着目すると、点火から45~60ms後の区間において熱発生率がほぼ一定値となる領域が観察された。この傾向は後噴射の燃料に依存していないことから、前噴射されたn-ドデカンの燃焼の残存効果によるものと考えられる。

図5について、着火遅れ時間に着目すると、前噴射にn-ドデカンを用いた場合の方が、n-ヘキサデカンを用いた場合と比較して最大20%程度短縮していることが分かる。これは、揮発性の高いn-ドデカンを前噴射することで予混合化が促進され、急速に燃焼したと考えられる。n-ヘキサデカンとn-ドデカンを用いた実験では、着火遅れ時間に対して前噴射の燃料性状の影響が支配的であると考えられる。また、全燃焼時間は①~④でほぼ一定値となっているが、③においては若干の減少が確認された。これは、図4から明らかなように、最大熱発生率の増大による急速燃焼によるものと考えられる。また、最高燃焼圧力および総発生熱量は、前噴射にn-ヘキサデカンを用いた場合の方が、n-ドデカンを用いた場合と比較して増大している。

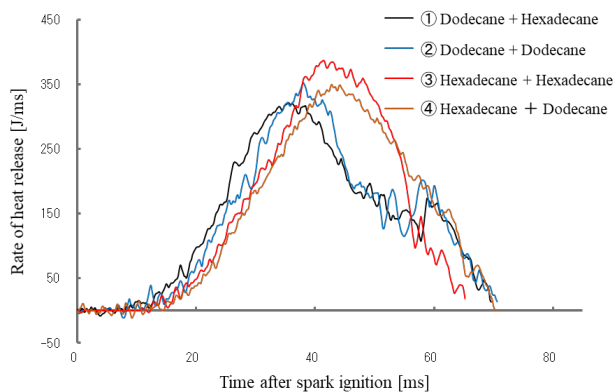


Fig. 4 Rate of heat release  
(n-Hexadecane + n-Dodecane)

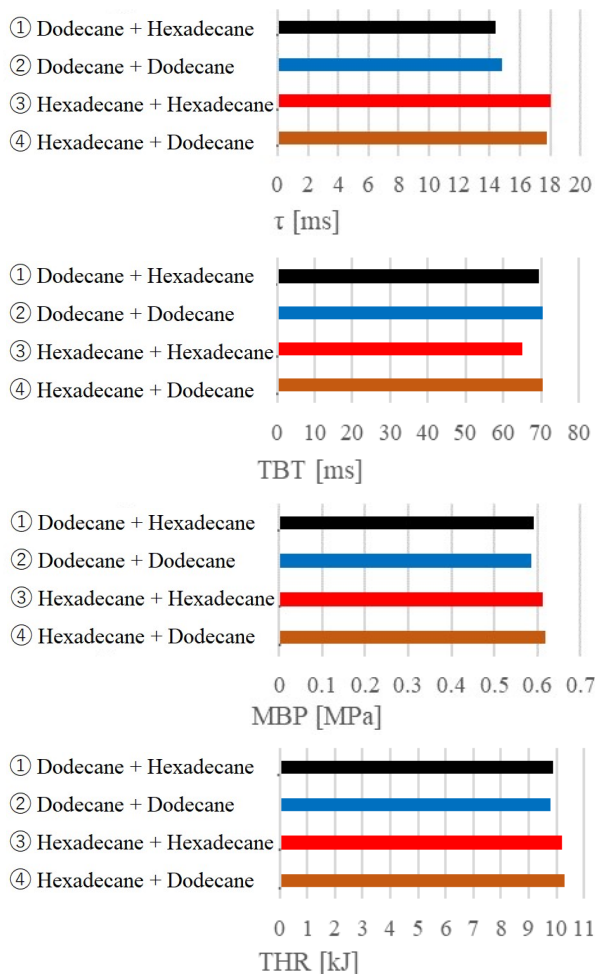


Fig. 5 Ignition delay time ( $\tau$ ), Total burning time (TBT),  
Maximum burning pressure (MBP)  
and Total heat release (THR)  
(n-Hexadecane + n-Dodecane)

## (2) n-ヘキサデカンと n-デカンを用いた場合

n-ヘキサデカンと n-デカンを用いて実験を行い、得られた熱発生率の履歴を図 6 に示す。また、着火遅れ時間、全燃焼時間、最高燃焼圧力および総発生熱量の結果を図 7 に示す。

図 6 より、①'および②'は前噴射において、n-デカンを噴射しているが、観察された最大熱発生率はほぼ同程度である。一方、前噴射の燃料に n-ヘキサデカンを用いた場合には、n-デカンの場合と比較して、得られた最大熱発生率は増大している。これは、図 4 の場合と同様に、沸点の高い n-ヘキサデカンを前噴射した場合には、n-デカンと比較して予混合化が遅延するため、前噴射の燃焼熱が後噴射の温度上昇に影響したと考えられる。④'については著しく最大熱発生率が増大しているが、これは、後噴射された蒸発潜熱が低く揮発性の高い n-デカンが急速に蒸発・拡散することで、前噴射で発生した燃焼熱の受熱量が増加したと考えられる。さらに、前噴射に n-デカンを用いた①'および②'の熱発生率の履歴に着目すると、点火から 50~60ms 後の区間において、図 4 の場合と同様に熱発生率が一定のレベルに保たれる領域が観察された。この傾向は後噴射の燃料に依存していないことから、前噴射された n-デカンの燃焼の残存効果によるものと考えられる。

図 7 について、着火遅れ時間に着目すると、後噴射に n-デカンを用いた場合の方が、n-ヘキサデカンを用いた場合と比較して最大 15%以上短縮していることが分かる。これは、n-デカンは n-ヘキサデカンに比較して蒸発潜熱が 20%程度低いいため、前噴射で発生した燃焼熱が後噴射の蒸発に寄与する割合が減少したこと起因すると考えられる。このように、着火遅れ時間に対して後噴射の燃料性状の影響が支配的であることが観察されるが、後噴射が同一のもの同士で比較すると、前噴射に揮発性の高い燃料を用いた方が着火遅れ時間が短縮しているため、この点は先の n-ヘキサデカンと n-ドデカンを用いた実験とも一致する。全燃焼時間に関しては、③'(図 4 の③と同一)および④'が他と比較して減少している。これは、図 6 から明らかなように、最大熱発生率の増大による急速燃焼によるものと考えられる。したがって、点火の前後で異種燃料を用いることにより、多段対向噴霧方式では、燃料性状による燃焼特性の制御が可能であると示唆される。

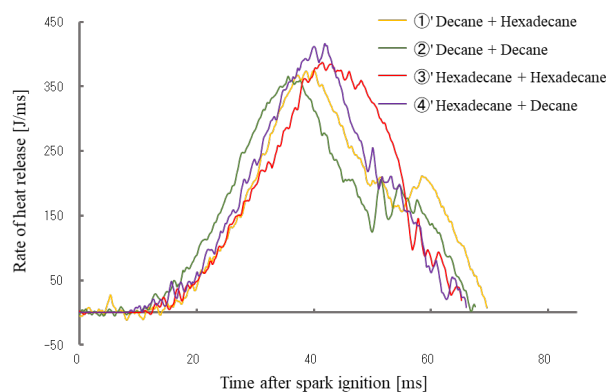


Fig. 6 Rate of heat release  
(n-Hexadecane + n-Decane)

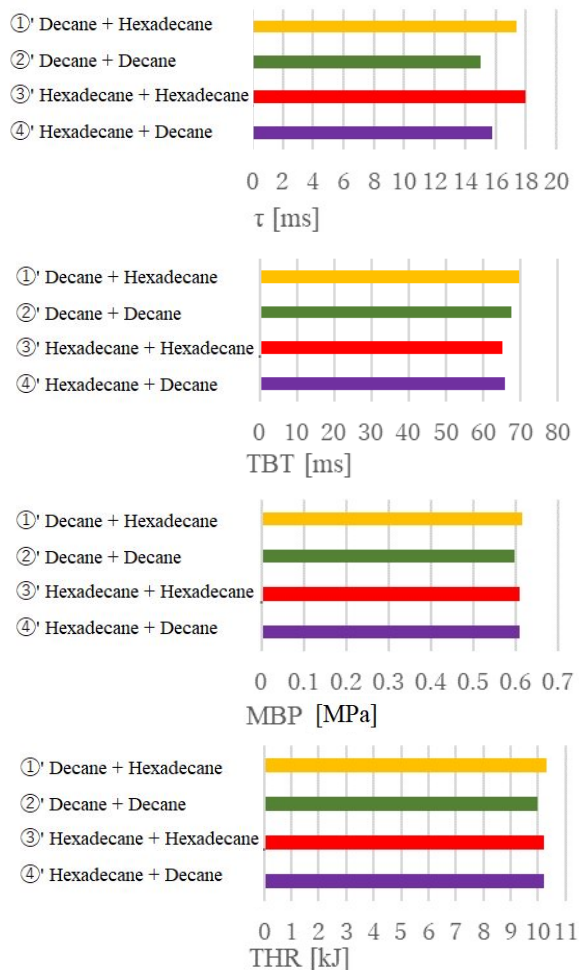


Fig. 7 Ignition delay time ( $\tau$ ), Total burning time (TBT), Maximum burning pressure (MBP) and Total heat release (THR) (n- Hexadecane + n-Decane)

#### 4. 結言

本研究では、定容密閉容器内に点火の前後で異種液体燃料を対向噴霧した際、不均質燃焼場の燃焼特性に及ぼす燃料性状の影響について検討を行った。以下に結論を示す。

- 1) 多段対向噴霧方式を用いて点火の前後で異種燃料を噴霧した場合、燃料性状による着火遅れ時間の制御が可能である。
- 2) 多段対向噴霧方式を用いて点火の前後で異種燃料を噴霧した場合、前噴射の燃料性状により熱発生率一定区間が存在する。

#### 参考文献

- 1) 西島義明, 浅見靖男, 青柳友三: 予混合圧縮着火燃焼に適した噴霧形成に関する研究(対向噴霧の特性解析), 日本機械学会論文集(B編), vol.68, No.670, p.221-226, (2002)
- 2) 青木洗樹, 劉金茹, 大岩亮友, 鈴木達, 小宮浩太郎, 川上忠重: 多段式対向噴霧を用いた不均質燃焼場の燃焼改善に関する一考察(特に噴射タイミングおよび燃料性状の影響), 2019年度自動車技術会関東支部学術研究講演会
- 3) 大岩亮友, 川上忠重: 多段型対向噴霧による不均質燃焼場の燃焼特性に関する一考察, 日本機械学会山梨講演会 2020 講演論文集, No.200-3, E24
- 4) 劉金茹, 川上忠重: 多段対向噴霧方式を用いた不均質燃焼場での燃焼改善に関する一考察(特に燃料性状および噴射タイミングの影響について), 日本機械学会 2020 年度年次大会 講演論文集, No.20-1